

Analisis Potensi Air Terjun Ngamba Mbu'u Kabupaten Ende Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Richardo Barry Astro* dan Yulius Dala Ngapa

*richardobarryastro@gmail.com

Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Flores

Jalan Sam Ratulangi Ende, NTT, Indonesia

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui debit aliran dan tinggi air terjun Ngamba Mbu'u sebagai informasi primer perhitungan potensi daya sistem PLTMH. Pemetaan potensi air terjun Ngamba Mbu'u merupakan upaya penyediaan informasi energi baru terbarukan yang dapat dioptimalkan untuk memenuhi kebutuhan dasar akan listrik dan peningkatan rasio elektrifikasi Nusa Tenggara Timur secara umum. Penelitian dilaksanakan pada Juni 2020 di air Terjun Ngamba Mbu'u Desa Tonggopapa, Kecamatan Ende, Kabupaten Ende. Pengukuran head dilakukan dengan analisis gambar menggunakan software Tracker Video Analysis, pengukuran laju aliran air menggunakan metode apung pada lintasan sungai sepanjang 8 meter, dan pengukuran luas penampang basah dilakukan dengan mengukur lebar serta kedalaman sungai untuk selanjutnya dihitung menggunakan pendekatan integral trapesium. Hasil penelitian menunjukkan nilai *head* bruto sebesar 12,450 m dan *head* efektif sebesar 11,205 m; laju aliran rata-rata sebesar 0,246 m/s; luas penampang basah sebesar 0,96 m². Dengan demikian diperoleh debit aliran sesaat sebesar 0,236 m³/s. Berdasarkan informasi *head* efektif dan debit aliran sesaat diperkirakan potensi daya teoritis air terjun Ngamba Mbu'u sebesar 25,9 kW, atau setara dengan 621,6 kWh produksi energi listrik harian.

Kata Kunci: *head* efektif, laju aliran, penampang basah, debit aliran, potensi daya teoritis.

I. PENDAHULUAN

Nusa Tenggara Timur (NTT) sebagai provinsi kepulauan dengan sebaran penduduk yang berjauhan menjadi kendala dalam pembangunan infrastruktur kelistrikan. Hingga Juni 2020 NTT memiliki rasio elektrifikasi (RE) sebesar 86,81%; lebih rendah dari rata-rata nasional yakni sebesar 98,93% [1,2]. RE merupakan perbandingan jumlah rumah tangga yang telah memiliki listrik dengan total rumah tangga di suatu wilayah. RE menjadi faktor pengukur tingkat kelistrikan suatu wilayah [3]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan guna meningkatkan RE di Indonesia secara umum dan NTT secara khusus ialah mendorong pemanfaatan energi terbarukan yang ramah lingkungan, salah satunya listrik tenaga air.

Flores sebagai pulau vulkanik dengan kondisi geografis bergunung-gunung memiliki potensi air terjun yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu air terjun terletak di Kabupaten Ende yakni air terjun Ngamba Mbu'u. Aliran air terjun Ngamba Mbu'u berasal dari perbukitan Wawonato dan bermuara di sungai Nangaba Ende. Air terjun ini merupakan obyek wisata namun memiliki potensi untuk dapat dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit berkapasitas mikro dengan sumber penggerak yang memanfaatkan air

dalam debit yang kecil [4,5]. Pada sistem PLTMH energi potensial jatuhnya air dikonversi menjadi energi gerak saat melewati pipa pesat (*penstock*) yang selanjutnya oleh turbin kembali diubah menjadi energi mekanik. Pada tahap akhir generator yang terhubung pada turbin akan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [6].

Keunggulan PLTMH dibanding pembangkit listrik lain diantaranya tidak mencemari lingkungan, tidak konsumtif terhadap pemakaian air, usia pemakaian yang panjang, biaya operasionalnya lebih kecil dan dapat diterapkan pada daerah terpencil [7]. Karena berbagai keunggulan tersebut PLTMH dapat dibangun dan dikelola secara mandiri oleh masyarakat desa guna mewujudkan kemandirian energi pada daerah-daerah terpencil [8]. Ketergantungan PLTMH akan pasokan air juga akan berimbas pada upaya menjaga kelestarian daerah tangkapan air.

Komponen PLTMH umumnya terdiri atas bangunan penyadap, saluran pembawa, bak penenang, pipa pesat, serta rumah pembangkit untuk meletakkan turbin dan generator (Gambar 1). Bendungan penyadap berperan memanipulasi *head* serta mengarahkan air menuju saluran pembawa. Bak penenang yang juga berperan sebagai bak pengendap berfungsi menyaring kotoran dan mengendapkan pasir serta lumpur. Pipa pesat berperan

mengoptimalkan energi kinetik air yang masuk ke turbin.



Gbr. 1 Komponen PLTMH [9]

Head dan debit air merupakan bagian penting dari sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Untuk kebutuhan pembangkit listrik umumnya dihitung menggunakan data debit andalan. Debit andalan adalah debit sungai yang tersedia dengan kemungkinan debit terpenuhi dalam persentase tertentu sehingga dapat dipakai untuk berbagai kebutuhan [10,11].

Head adalah tinggi air terjun atau selisih jarak antara permukaan air pada reservoir dengan permukaan air setelah melewati turbin [12]. Potensi daya listrik yang mampu dibangkitkan sistem PLTMH akan semakin besar jika memiliki *head* dan debit air yang besar. Tinggi *head* dapat dimanipulasi dengan membuat bangunan penyadap atau bendungan.

Perhitungan potensi daya listrik teoritis sistem PLTMH menggunakan *head* efektif, yakni *head* hasil pengukuran (H_{bruto}) dikurangi dengan kehilangan tinggi jatuh air (H_{losses}). Besar kehilangan tinggi jatuh air umumnya adalah 10% dari *head* pengukuran [13]. Dengan demikian potensi daya teoritis dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut [14,15]:

$$P_{teori} = \rho g Q H_{eff} \quad (1)$$

dengan P_{teori} adalah daya teoritis (Watt), ρ adalah densitas air (kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), Q adalah debit air (m^3/s), dan H_{eff} adalah *head* efektif.

Daya teoritis cenderung berkurang bergantung pada efisiensi (η) sistem PLTMH yang digunakan. Daya terbangkit (P_{riil}) sebuah PLTMH dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [12]:

$$P_{riil} = \eta \rho g Q H_{eff} \quad (2)$$

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui debit aliran dan tinggi terjun air sebagai informasi primer perhitungan daya listrik yang mampu dihasilkan air terjun Ngamba Mbu'u. Pemetaan potensi air terjun Ngamba Mbu'u merupakan upaya penyediaan informasi energi baru terbarukan yang dapat dioptimalkan untuk memenuhi kebutuhan dasar akan listrik dan peningkatan rasio elektrifikasi Nusa Tenggara Timur secara umum.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada Juni 2020 di lokasi air terjun Ngamba Mbu'u, Desa Tonggopapa, Kecamatan Ende, Kabupaten Ende. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran tidak langsung dengan mempertimbangkan peralatan yang dimiliki, kondisi topografi yang terjal, serta penampang sungai yang tidak teratur. Peralatan yang digunakan dalam pengukuran antara lain mistar ukur, rol meter, bola plastik sebagai pengapung, *stopwatch*, kamera dengan resolusi yang baik, dan perangkat lunak *Tracker Video Analysis*. Perhitungan potensi daya teoritis menggunakan persamaan (1).

Head diperoleh dengan melakukan analisis gambar air terjun menggunakan aplikasi *Tracker Video Analysis*. Debit aliran sesaat diperoleh dari perkalian laju rata-rata aliran dengan luas penampang basah sampel sungai yang dipilih sesuai persamaan berikut:

$$Q = Av \quad (3)$$

dengan A adalah luas penampang basah sungai (m^2) dan v adalah laju aliran rata-rata sungai (m/s).

Pengukuran luas penampang dan laju aliran air mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI) 8066:2015 tentang tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka menggunakan alat ukur arus dan pelampung. Pengukuran laju aliran air menggunakan metode apung dilakukan dengan mengukur waktu tempuh dari sebuah bola plastik pada jarak tertentu. Dalam pengukuran laju aliran dengan metode apung lintasan pengukuran dipilih pada bagian alur yang lurus dengan syarat panjang lintasan minimal tiga kali lebar sungai, atau waktu tempuh lintasan minimal 40 detik [16]. Laju aliran air dapat dihitung dengan persamaan:

$$v = \frac{L}{t} \quad (4)$$

dengan L merupakan panjang lintasan (m) dan t adalah waktu tempuh (s).

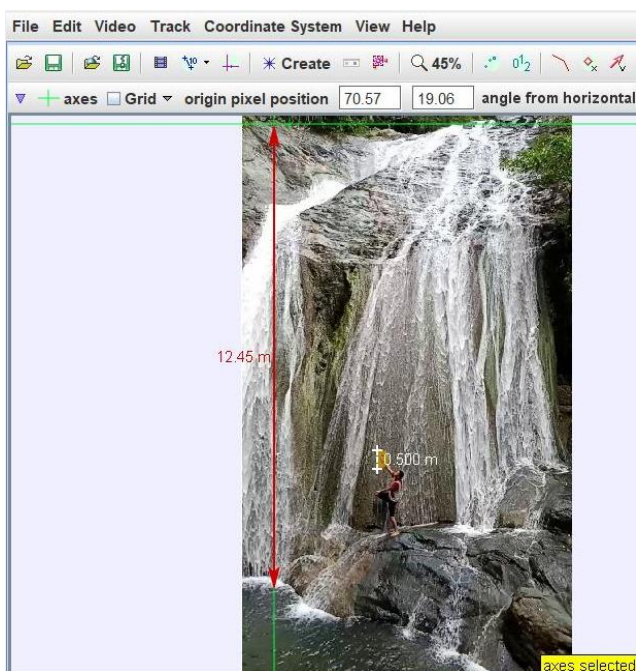
Luas penampang basah sungai dihitung dari kedalaman air dan lebar sungai. Kedalaman air diperoleh dengan mengukur jarak antara dasar sungai dan permukaan air pada interval tertentu. Penentuan luas penampang basah sampel sungai menggunakan pendekatan integral trapesium sesuai persamaan berikut [17]:

$$A = \sum_{x=1}^n a_x = \sum_{x=1}^n \left[\left(\frac{d_{(x)} + d_{(x-1)}}{2} \right) l_x \right] \quad (5)$$

dengan a_x adalah luas trapesium ke- x , $d_{(x-1)}$ dan $d_{(x)}$ merupakan kedalaman sampel sungai (dua sisi sejajar), dan l_x merupakan lebar segmen sungai ke- x .

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran *head* dilakukan dengan mengambil gambar air terjun Ngamba Mbu'u secara utuh dengan terlebih dahulu menempatkan mistar ukur. Mistar tersebut berfungsi sebagai patokan ukuran sebenarnya ketika dilakukan analisis jarak menggunakan *Tracker Video Analysis*. Mistar ukur menggunakan warna yang mencolok untuk mempermudah proses *tracking* pada gambar.



Gbr 2. Analisis gambar pengukuran *head* menggunakan *Tracker Video Analysis*

Gambar 2 menunjukkan proses analisa gambar pengukuran *head* air terjun. Ukuran *calibration stick* pada aplikasi *Tracker*

disesuaikan dengan panjang mistar ukur yakni 0,5 meter. Selanjutnya dengan menggunakan *measuring tools* (garis berpanah) diperoleh *head* bruto air terjun Ngamba Mbu'u sebesar 12,450 meter. Dengan demikian diperoleh *head losses* sebesar 1,245 meter dan *head* efektif yang akan digunakan dalam penentuan potensi daya listrik teoritis sebesar 11,205 meter.

Nilai *head* bruto dan *head* efektif air terjun Ngamba Mbu'u sangat mungkin lebih besar dari 11,205 meter jika diukur dengan metode lain seperti menggunakan *Altimeter Page* pada *Global Positioning System* (GPS). Hal ini berkaitan dengan perbedaan jarak horizontal pada daerah satu pertiga bagian atas air terjun terhadap mistar ukur yang menjadi kalibrator. Semakin jauh sebuah objek dari kamera maka dimensi objek semakin kecil dan semakin sedikit pula jumlah *pixel* yang terekam [18]. Namun nilai *head* hasil analisis menggunakan *Tracker* masih dapat digunakan untuk menentukan analisis potensi daya minimal yang mampu dihasilkan air terjun Ngamba Mbu'u.

Pengukuran lebar sungai Ngamba Mbu'u menggunakan rol meter diperoleh nilai sebesar 2,35 meter. Berdasarkan data tersebut ditetapkan panjang lintasan sungai sebesar 8 meter guna memenuhi syarat minimal yakni tiga kali lebar sungai serta memperhatikan kelurusan alur sungai. Pengukuran laju aliran sungai dilakukan dengan menghanyutkan bola plastik pada lintasan yang telah ditetapkan untuk selanjutnya diperoleh waktu tempuh bola. Pengukuran waktu tempuh dilakukan berulang dan disajikan pada Tabel 1. Bola yang dihanyutkan rata-rata membutuhkan waktu 32,49 sekon untuk menempuh jarak 8 meter. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) maka diperoleh laju aliran sungai dengan perbedaan yang tidak signifikan. sungai Ngamba Mbu'u memiliki laju aliran rata-rata sebesar 0,246 m/s.

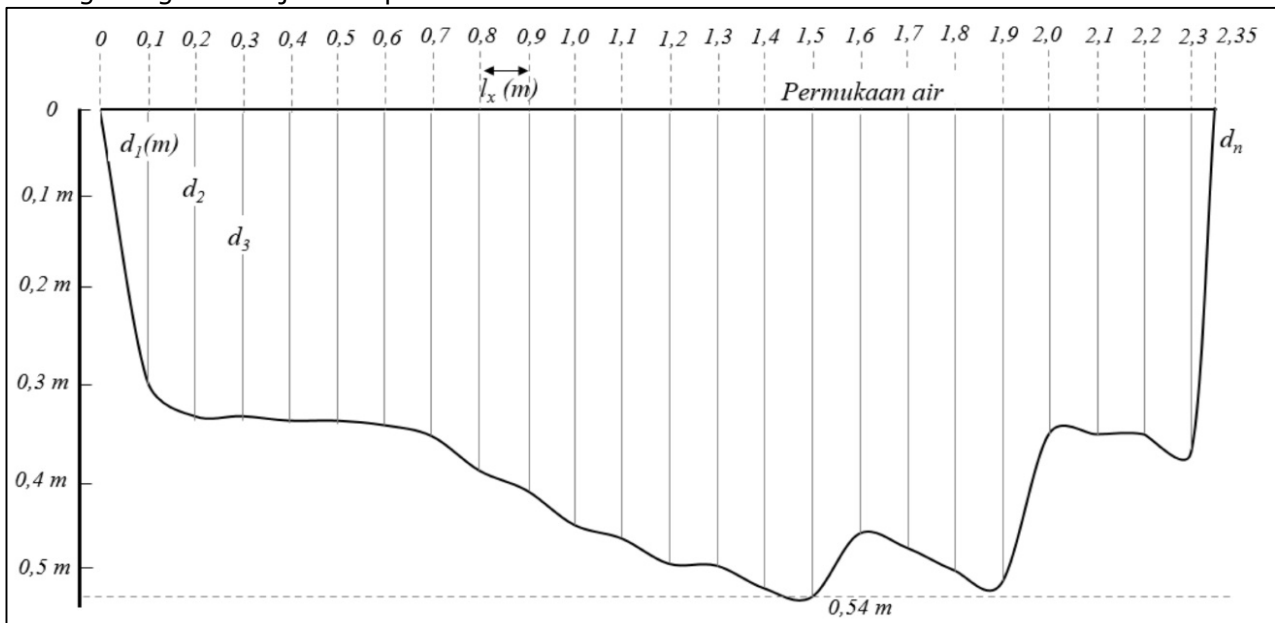
TABEL 1. LAJU ALIRAN HORIZONTAL AIR TERJUN NGAMBA MBU'U

No Pengukuran	Waktu Tempuh	Laju Aliran Sungai
1	31,18 s	0,257 m/s
2	33,35 s	0,240 m/s
3	32,83 s	0,244 m/s
4	32,47 s	0,246 m/s
5	32,62 s	0,245 m/s
Rata-rata	32,49 s	0,246 m/s

Pada pengukuran luas penampang basah, lebar sungai dibagi menjadi 23 segmen dengan rentang interval 0,1 meter. Dengan demikian diperoleh 22 segmen berbentuk trapesium dengan interval 0,1 meter dan 1 segmen

berbentuk segitiga dengan interval 0,05 meter. Sampel sungai Ngamba Mbu'u memiliki kedalaman yang bervariasi antara 0,30 meter sampai 0,54 meter. Model penampang melintang sungai ditunjukkan pada Gambar 3.

Selanjutnya dengan menggunakan pendekatan integral trapesium berdasarkan persamaan (5) maka diperoleh total luas penampang sampel sungai Ngamba Mbu'u sebesar 0,96 m².



Gbr. 3 Penampang melintang sampel sungai

Debit air dalam penelitian ini menggunakan data primer debit aliran sesaat. Dikatakan aliran sesaat karena data debit air sungai Ngamba Mbu'u yang diperoleh adalah hasil pengukuran pada satu waktu, sehingga tidak ada data primer lain sebagai pembandingan. Analisis potensi air terjun Ngamba Mbu'u pada penelitian ini tidak menggunakan informasi debit andalan karena belum tersedianya data hidrologi dan informasi curah hujan daerah aliran sungai tersebut. Namun demikian, berdasarkan informasi yang diperoleh dari warga desa Tonggopapa debit air terjun Ngamba Mbu'u cenderung konstan dan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Berdasarkan luas penampang basah dan laju aliran sungai yang telah diperoleh, maka dengan menggunakan persamaan (3) diperoleh debit aliran sesaat pada air terjun Ngamba Mbu'u sebesar 0,236 m³/s.

Berdasarkan data *head* efektif dan debit aliran air terjun Ngamba Mbu'u, maka potensi daya listrik teoritis dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1). Secara teori daya listrik minimal yang mampu dihasilkan air terjun Ngamba Mbu'u yakni sebesar 25.886 Watt. Dengan potensi daya teoritis setara 25,9 kW tersebut, sistem PLTMH dapat memproduksi energi listrik harian hingga 621,6 kWh.

Pada kenyataannya daya listrik terbangkit lebih kecil dari pada daya teoritis. Hal ini berkaitan dengan sistem PLTMH yang memiliki

tingkat efisiensi tertentu dan menyebabkan hilangnya sejumlah energi yang dibangkitkan. Namun demikian nilai potensi daya teoritis dapat menjadi rujukan dalam merencanakan penelitian lanjutan, desain bangunan, pemilihan turbin dan generator yang sesuai, sistem pendistribusian listrik, hingga rencana pemanfaatan energi listrik.

Energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTMH dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, antara lain kebutuhan listrik harian Desa Tonggopapa, pembangunan sarana pendukung wisata air terjun Ngamba Mbu'u, peningkatan produksi usaha mikro kecil menengah (UMKM) dan sebagainya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Air terjun Ngamba Mbu'u memiliki *head* bruto sebesar 12,450 m dan *head* efektif sebesar 11,205 m. Dengan laju aliran rata-rata 0,246 m/s dan luas penampang basah 0,96 m², air terjun Ngamba Mbu'u memiliki debit aliran sesaat sebesar 0,236 m³/s. Berdasarkan informasi tersebut diperoleh potensi daya teoritis minimal sebesar 25,9 kW, atau setara dengan 621,6 kWh produksi energi listrik harian. Potensi energi dan daya teoritis menjadi informasi dasar dalam perencanaan penelitian lanjutan, penentuan desain dan komponen PLTMH yang

sesuai, hingga skema pemanfaatan energi listrik.

B. Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya antara lain: melakukan pengukuran *head* dengan metode pengukuran langsung guna mendapatkan data ketinggian air terjun yang lebih akurat. Selain itu perlu dilakukan pengukuran debit aliran sungai secara berkala untuk memperoleh data debit andalan dan sekaligus upaya penyediaan data hidrologi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alex. (2020). *Rasio Elektrifikasi Provinsi NTT Sampai Juni 2020 Capai 86,81%*. (Online). Tersedia: <http://www.nttonlinenow.com/new2016/2020/07/15/rasio-elektrifikasi-provinsi-ntt-sampai-juni-2020-capai-8681/>, diakses [1 Juli 2020].
- [2] Rahma, A. (2020). *Rasio Elektrifikasi Indonesia Sentuh 98,93 Persen pada April 2020*. (Online). Tersedia: <https://www.liputan6.com/bisnis/read/4307051/rasio-elektrifikasi-indonesia-sentuh-9893-persen-pada-april-2020>, diakses [21 Juni 2020].
- [3] Yusuf, F., & Rahayan, R. (2018). Sistem Monitoring Rasio Elektrifikasi Di PT PLN (Persero) Wilayah Sulselbar Berbasis Web. *Jurnal Insypro: Information System and Processing*, 3(1), 1–10.
- [4] Bahtiar, A., Hidayat, D., Mindara, J. M., Syakir, N., & Wibawa, B. (2015). Aplikasi Pembangkit Listrik Mikrohidro Untuk Penerangan Lingkungan Masyarakat Di Kecamatan Ciwidey Kabupaten Bandung. *Jurnal Aplikasi Ipteks Untuk Masyarakat*, 4(1), 15–17.
- [5] Židonis, A., Benzon, D. S., & Aggidis, G. A. (2015). Development of hydro impulse turbines and new opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1624–1635.
- [6] Astro, R. B., Doa, H., & Hendro, H. (2020). Fisika Kontekstual Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(1), 142–149.
- [7] Doda, N., & Mohammad, H. (2018). Analisis Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik. *Gorontalo Journal of Infrastructure & Science Engineering*, 1(1), 1–10.
- [8] Basar, M. F., & Othman, M. M. (2013). An Overview of the Key Components in the Pico Hydro Power Generation System Faculty of Engineering Technology. *Latest Trends in Renewable Energy and Environmental Informatics*, 206–213.
- [9] Gunawan, A., Oktafeni, A., & Khabzli, W. (2014). Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 28–36.
- [10] Kalapati, F., Kawet, L., Mananoma, T., & Halim, F. (2014). Analisis Potensi Sumber Daya Air Sungai Deme Untuk Pembangkit Listrik di Desa Deme 1 Kecamatan Sumalata Gorontalo Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 2(3), 115–123.
- [11] Pratiwi, B. S. (2014). Studi Komparasi Debit Andalan Metode Flow Characteristic Dan Basic Year Di Daerah Aliran Sungai Lusi. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 16(1), 51–58.
- [12] Hatch Energy. (2008). *Low Head Hydro Market Assessment* (Vol. 1, Issue March).
- [13] Rompas, P. T. D. (2011). Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Pada Daerah Aliran Sungai Ongkak Mongondow di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Penelitian Saintek*, 16(2), 160–171.
- [14] Khomsah, A., & Zuliari, E. A. (2015). Analisa Teori: Performa Turbin Cross Flow Sudu Bambu 5 " sebagai Penggerak Mula Generator Induksi 3 Fasa. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 1, 79–88.
- [15] Ranjan, R. K., Alom, N., Singh, J., & Sarkar, B. K. (2019). Performance investigations of cross flow hydro turbine with the variation of blade and nozzle entry arc angle. *Energy Conversion and Management*, 182(May 2018), 41–50.
- [16] Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung*. SNI (8066:2015).
- [17] Fuadi, M. A., Astutik, S., & Harijanto, A. (2018). Kajian Dinamika Fluida Pada Aliran Air Terjun Tujuh Bidadari Kabupaten Jember Berbasis Sensor Waterflow. *Seminar Nasional Pendidikan Fisika*, 3, 227–234.
- [18] Kartowisastro, I. H. (2010). Pengukuran Jarak Berbasis Stereo Vision. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 1(2), 598–605.